

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 59-064733

(43)Date of publication of application : 12.04.1984

(51)Int.Cl. C22C 19/07
C22C 38/10
H01F 1/04

(21)Application number : 57-166663 (71)Applicant : SUMITOMO SPECIAL METALS CO LTD

(22)Date of filing : 27.09.1982 (72)Inventor : SAGAWA MASATO
FUJIMURA SETSUO
MATSUURA YUTAKA

(54) PERMANENT MAGNET

(57)Abstract:

PURPOSE: To obtain a magnetically anisotropic sintered permanent magnet improved in its temp. characteristic, by preparing an alloy containing the specified amounts of Fe, B, rare earth elements and Co.

CONSTITUTION: An alloy comprising, by atomic percentage, 8W30% R (wherein R is at least one of rare earth elements including Y), 2W28% B, Co \leq 50% (except 0%), and the balance Fe and inevitable impurities is prepared. As said rare earth elements R, one or more of Nd, Pr, La, Y, etc. are used. As B, pure B or ferrobore is used. The permanent magnet formed out of said alloy exhibits magnetic properties such as coercive force $H_c \geq 1$ KOe and residual magnetic flux density $B_r \geq 4$ KG, and its maximum energy product (BH)_{max} is similar to or more than that of hard ferrite (W about 4 MGOe).

LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

⑫ 特 許 公 報 (B2)

平3-19296

⑮ Int. Cl.⁸C 22 C 38/00
19/07
H 01 F 1/053

識別記号

3 0 3 D
E

庁内整理番号

7047-4K
6813-4K

②④公告 平成3年(1991)3月14日

7303-5E H 01 F 1/04

H

発明の数 2 (全9頁)

⑭発明の名称 永久磁石

⑰特 願 昭57-166663

⑱公 開 昭59-64733

⑲出 願 昭57(1982)9月27日

⑳昭59(1984)4月12日

⑳発 明 者 佐 川 眞 人 大阪府三島郡島本町江川2丁目-15-17 住友特殊金属株式会社山崎製作所内

㉑発 明 者 藤 村 節 夫 大阪府三島郡島本町江川2丁目-15-17 住友特殊金属株式会社山崎製作所内

㉒発 明 者 松 浦 裕 大阪府三島郡島本町江川2丁目-15-17 住友特殊金属株式会社山崎製作所内

㉓出 願 人 住友特殊金属株式会社 大阪府大阪市中央区北浜4丁目7番19号

㉔代 理 人 弁理士 加藤 朝道

審 査 官 大 屋 晴 男

㉕参考文献 特開 昭57-141901(JP, A) 特開 昭59-64739(JP, A)

1

①特許請求の範囲

1 原子百分比で、希土類元素(R)としてNd, Pr, Dy, Ho, Tbのうち少なくとも一種8~30%、B2~28%及び残部実質的にFeからなるFe-B-R系磁気異方性焼結体永久磁石において、前記Feの一部を全組成に対して50%以下(0%を除く)のCoで置換したことを特徴とする永久磁石。

2 原子百分比で、前記希土類元素(R)12~20%(但し前記希土類元素(R)の50%以上はNdとPrの1種又は2種)、B4~24%及び残部実質的にFeからなり、前記Feの一部を全組成に対して45%以下のCoで置換したことを特徴とする特許請求の範囲第1項記載の永久磁石。

3 原子百分比で、希土類元素(R)としてNd, Pr, Dy, Ho, Tbのうち少なくとも一種とLa, Ce, Pm, Sm, Eu, Gd, Er, Tm, Yb, Lu, Yのうち少なくとも一種の合計8~30%、B2~28%及び残部実質的にFeからなるFe-B-R系磁気異方性焼結体永久磁石において、前記Feの一部を全組成に対して50%以下(0%を除く)の

2

Coで置換したことを特徴とする永久磁石。

4 原子百分比で、前記希土類元素(R)12~20%(但し前記希土類元素(R)の50%以上はNdとPrの1種又は2種)、B4~24%及び残部実質的にFeからなり、前記Feの一部を全組成に対して45%以下のCoで置換したことを特徴とする特許請求の範囲第3項記載の永久磁石。

発明の詳細な説明

本発明は、一般家庭の各種電気製品から、大型コンピュータの周辺端末機まで、幅広い分野で使われるきわめて重要な電気・電子材料の一つである永久磁石の改良に係り、特にCo添加Fe-B-R系永久磁石に関する。

近年の電気、電子機器の小型化、高効率化の要求にともない、永久磁石はますます高性能化が求められるようになった。

現在の代表的な永久磁石はアルニコ、ハードフェライト及び希土類コバルト磁石である。最近のコバルトの原料事情の不安定化にともない、コバルトを20~30重量%含むアルニコ磁石の需要は減り、鉄の酸化物を主成分とする安価なハードフェ

3

ライトが磁石材料の主流を占めるようになった。一方、希土類コバルト磁石はコバルトを50~65重量%も含むうえ、希土類鉱石中にあまり含まれていないSmを使用するため大変高価であるが、他の磁石に比べて、磁気特性が格段に高いため、主として小型で、付加価値の高い磁気回路に多く使われるようになった。

希土類コバルト磁石は RCO_5 , R_2Co_{17} (RはSm, Ceを中心とする希土類元素) にて示される2元系化合物をベースとする永久磁石であり、Coの一部を少量のCu, Feの他Zr, Ti, V, Hf等の遷移金属元素にて置換することによって磁気特性の向上が図られてきたものである。

他方近時、コバルトを含まない磁性材料としてFeとR(以下本発明においてRは希土類元素を示す符号として用いる)を主成分とするスパッタ薄膜又は超急冷リボンの磁性材料が提案されている。例えば、クラークによるスパッタした薄膜アモルファス TbFe_2 , DyFe_2 , SmFe_2 合金の磁気特性が報告されているA. B. Clark: Appl. Phys. Lett. vol.23 No.11 1 December 1973 642~644頁)。また超急冷リボンの磁性材料としてクロートによるPrFe系合金(J. J. Croat: Appl. Phys. Lett. 37 (12), 15 December 1980 1096~1098頁)があり、さらにクーン等による $(\text{Fe}_{0.82}\text{B}_{0.18})_{0.9}\text{Tb}_{0.05}\text{La}_{0.05}$ 合金(N. C. Koon 他: Appl. Phys. Lett. 39 (10), 15 November 1981, 840~842頁)、カバコフ等による $(\text{Fe}_{0.8}\text{B}_{0.2})_{1-x}\text{Pr}_x$ ($x=0\sim0.3$ 原子比)合金(L. Kabakoff 他: J. Appl. Phys. 53 (3), March 1982, 2255~2257頁)等が報告されている。さらに前記クロートは軽希土類鉄合金は低コスト永久磁石の魅力的な候補として長い間考えられてきたが、これら合金を粉末冶金法によって磁氣的に硬化する試みは成功しなかったことを報告するとともに、Pr-Fe及びNd-Fe合金が溶融紡糸(超急冷)によって磁氣的に硬化され得ることを見出したと報告している(J. J. Croat: J. Appl. Phys. 53(4), April 1982, 3161頁)。

希土類を用いた磁石がもつと広い分野で安価に、かつ多量に使われるようになるためには、高価なコバルトを含まず、かつ希土類金属として、鉱石中に多量に含まれている軽希土類を主成分とすることが必要とされよう。

一方既述のようにR-FeないしR-Fe-B合

4

金を磁性材料として有用化するためには、スパッタ薄膜化又は超急冷ないしアモルファス化が不可欠であるとされている。

しかし、これらのスパッタ薄膜又は超急冷リボンからは任意の形状・寸法を有するバルク状の実用永久磁石を得ることができなかつた。これまでに報告されたFe-B-R系リボンの磁化曲線は角形性が悪く、従来慣用の磁石に対抗できる実用永久磁石とはみなされえない。また、上記スパッタ薄膜及び超急冷リボンは、いずれも本質上等方性であり、これらから磁気異方性の実用永久磁石を得ることは、事実上不可能であつた。

本発明は、このような要請に応えるべき新規な実用高性能永久磁石を提供することを基本目的とする。特に、本発明は、室温以上で良好な磁気特性を有し、任意の形状・実用寸法に成形でき、磁化曲線の角形性が高く、さらに磁気異方性を有する実用永久磁石であつて、しかもRとして資源的に豊富な軽希土類元素を有効に使用できるもの得ることを目的とする。

このような永久磁石として、本発明者は、先に、Nd, Prを中心とする特定の希土類元素とFeとBとを特定比をもつて必須とし、かつ磁気異方性焼結体である。全く新しい種類の実用高性能永久磁石を開発し、本願と同一出願人により出願した(特願昭57-145072)。このFe-B-R3元系磁石は、従来知られている RCO_5 や R_2Co_{17} 化合物とは異なる新しい化合物を基礎とし、粉末冶金法にて適当なマイクロ組織を形成することによって得られる磁気異方性焼結永久磁石であり、特にボロン(B)は、従来の、例えば非晶質合金作成時の非晶質促進元素又は粉末冶金法における焼結促進元素として添加されるものではなく、このFe-B-R系永久磁石の実体的内容を構成する磁氣的に安定で高い磁気異方性定数を有するR-Fe-B化合物の必須構成元素であることを明らかにした。

上述のFe-B-R系磁気異方性焼結永久磁石は必ずしもCoを含む必要がなく、またRとしては好適な実施態様として資源的に豊富なNd, Prを主体とする軽希土類を用いることができ、必ずしもSmを必要とせず或いはSmを主体とする必要もないので原料が安価であり、きわめて有用である。しかも、磁気特性はハードフェライト磁石以上の特性を有し(保磁力 $iH_c \geq 1kOe$, 残留磁束

密度 $Br \geq 4kG$ 、最大エネルギー積 $(BH)_{max} \geq 4MGOe$ 特に好ましい組成範囲においては希土類コバルト磁石と同等以上の極めて高いエネルギー積を示すことができる。

以上の通りこのFe-B-R系永久磁石は磁気異方性に基づく高磁気特性、任意成形性、資源的により豊富な材料を用いることができる等の点で高いコストパフォーマンスを有し、R-Co系磁石にも代わり得る工業上極めて有用なものであるが、一方、このFe-B-R系永久磁石のキュリー点(温度)は、特願昭57-145072に開示の通り一般に300℃前後、最高370℃である。このキュリー点は、従来のアルニコ系ないしR-Co系の永久磁石の約800℃のキュリー点と比べてかなり低いものである。従つて、Fe-B-R系永久磁石は、従来のアルニコ系やR-Co系磁石に比して磁気特性の温度依存性が大であり、高温においては磁気特性の低下が生ずる。本発明者の研究の結果によれば、Fe-B-R系焼結磁石は約100℃以上の温度で使用するとその温度特性が劣化するため、約70℃以下の通常の温度範囲で使用する

ことが適当であることが判明した。この様に永久磁石にとって磁気特性の温度依存性が高い、即ちキュリー点が低いことはその使用範囲が狭められることとなり、Fe-B-R系永久磁石を広範囲の用途に使用するためにはキュリー点を上昇せしめ、温度特性を改善することが必要であつた。

本発明は、前記基本目的と共にさらにかかるFe-B-R系磁気異方性焼結体永久磁石において、その温度特性を改良することを併せて目的とする。

本発明者は、各種の実験及び検討の結果、Fe-B-R系永久磁石においてFeのCoによる置換により前記基本目的を達成すると共に、それがFe-B-R系永久磁石の温度特性の改善、即ちキュリー点の上昇及び残留磁束密度Brの温度係数(温度依存変化率)の減少に有効であることを見出した。即ち、本発明の永久磁石は次の通りである。

本願の第1発明：原子百分比で、希土類元素(R)としてNd, Pr, Dy, Ho, Tbのうち少なくとも一種8~30%、B2~28%及び残部実質的にFeからなるFe-B-R系磁気異方性焼結体永

久磁石において、前記Feの一部を全組成に対して50%以下(0%を除く)のCoで置換したことを特徴とする永久磁石。

本願の第2発明：原子百分比で、希土類元素(R)としてNd, Pr, Dy, Ho, Tbのうち少なくとも一種とLa, Ce, Pm, Sm, Eu, Gd, Er, Tm, Yb, Lu, Yのうち少なくとも一種の合計8~30%、B2~28%及び残部実質的にFeからなるFe-B-R系磁気異方性焼結体永久磁石において、前記Feの一部を全組成に対して50%以下(0%を除く)のCoで置換したことを特徴とする永久磁石。

一般に、Fe合金へのCoの添加の際、Co添加量の増大に従いキュリー点(Tc)が上昇するものと下降するものと両方が認められている。そのため、FeをCoで置換することは、一般的には複雑な結果を生来し、その結果の予測は困難である。例えば、 RFe_2 化合物のFeをCoで置換して行くと、Co量の増大に伴いTcはまず上昇するが、Feを1/2置換した $R(Fe_{0.5}Co_{0.5})_2$ 付近で極大に達し、その後低下してしまう。また Fe_2B 合金の場合には、FeのCoによる置換によりTcは単調に低下する。

Fe-B-R系におけるFeのCoによる置換においては、第1図に示す通り、Co置換量の増大に伴いTcは当初急速に増大し、以後徐々に増大することが明らかとなつた。このFe-B-R系合金においては、Rの種類によらず同様な傾向が確認される。Coの置換量はわずか(例えば0.1~1原子%)でもTc増大に有効であり、第1図として例示する系 $(77-x)Fe-xCo-8B-15Nd$ において明らかな通り、xの調整により400~800℃の任意のTcをもつ合金が得られる。かくて本発明は、高い磁気異方性を有する新規なFe-B-R化合物をベースとしたFe-B-R系磁気異方性焼結体永久磁石のFeの一部をCoで置換することにより合金組成中にCoを50%以下含有せしめ、(Fe, Co)-B-R化合物をベースとしたFe-Co-B-R系磁気異方性焼結体永久磁石を提供するものである。

本発明によれば、Coを含有することによりFe-B-R系永久磁石の温度特性を実質的に従来のアルニコ磁石、R-Co系磁石と同等程度に改善する上、さらにその他の利点を保持する。

即ち、特に希土類元素Rとして資源的に豊富なNdやPrなどの軽希土類を用いた場合、従来のR-Co系磁石と比較すると、資源的、価格のいずれの点においても有利であり、磁気特性の上からもさらに優れたものが得られる。

また、本発明のCo添加Fe-B-R系永久磁石はCoを含有しないFe-B-R系永久磁石と比較してBrはほぼ同程度、iHcは同等或いは少し低いがCo添加により角形性が改善されるため、かなりの範囲で(BH) maxは同等か或いはそれ以上とすることが可能である。さらに、CoはFeに比べて耐食性を有するので、Fe-B-R系永久磁石と比較してCoを添加することにより耐食性を付与することも可能となる。

かくて、本発明は工業上極めて有用な新規な実用高性能永久磁石を提供できる。

本発明において必須元素のうちB、Rの含有量は基本的にFe-B-R系永久磁石(Coを含まない系)の場合と同様である。即ち(以下%は合金中、原子百分率を示す)、保磁力 $H_c \geq 1kOe$ を満たすためにBは2%以上とし、ハードフェライトの残留磁束密度Br約4kG以上とするためにBは28%以下とする。Rは、保磁力1kOe以上とするために8%以上必要であり、また燃え易く工業的取扱、製造上の困難のため(かつまた高価であるため)、30%以下とする。

本発明の永久磁石に用いる希土類元素RはYを包含し、軽希土類及び重希土類を包含する希土類元素であり、そのうち所定の一種以上を用いる。即ちこのRとしては、Nd, Pr, La, Ce, Tb, Dy, Ho, Er, Eu, Sm, Gd, Pm, Tm, Yb, Lu及びYが包含される。Rとしては、Nd, Prを主体とする軽希土類(特にNd, Pr)が好ましい。通例Rのうち所定のものの一種をもつて足りる(Nd, Pr, Dy, Ho, Tb等)が、La, Ce, Pm, Sm, Eu, Gd, Er, Tm, Yb, Lu, Y等は他のR、特にNd, Pr, Dy, Ho, Tb(一種以上)との混合物として用いることができる。実用上は二種以上の混合物(ミツシユメタル、ジジム等)を入手上の便宜等の理由により用いることができる。Sm, La, Er, Tm, Ce, Gd, Yは単独ではiHcが低いため好ましくなく、Eu, Pm, Yb, Luは微量にしか存在せず高価である。従つてこれらの希土類元素は、前述の通り、Nd, Pr等の

他のRとの混合物として用いることができる。なお、このRは純希土類元素でなくともよく、工業上入手可能な範囲で製造上不可避な不純物(他の希土類元素、Ca, Mg, Fe, Ti, C, O等)を含有するもので差支えない。

B(ホウ素)としては、純ボロン又はフェロボロンを用いることができ、不純物としてAl, Si, C等を含むものも用いることができる。

残部は実質的にFeとCoからなり、本発明の特徴とするCoの置換量は、後述する磁気特性等の要求に応じて適宜選択することが望ましい。

本発明永久磁石はFe, Co, B, Rの外、C, S, P, Ca, Mg, O, Si, Al等工業的に製造上不可避な不純物の存在を許容できる。これらの不純物は、原料或いは製造工程から混入することが多く、合計は5%以下とすることが好ましい。又、Al, Ti, V, Cr, Mn, Zn, Zr, Nb, Mo, Ta, W, Sn, Bi, Sbの一種以上を添加することにより高保磁力化が可能となり、又Ni添加により、耐食性改善も可能となる。

本発明のFe-Co-B-R系永久磁石は、既述のR、即ちNd, Pr, Dy, Ho, Tbのうち少なくとも一種、又はこれらNd, Pr, Dy, Ho, Tbのうち少なくとも一種とLa, Ce, Pm, Sm, Eu, Gd, Er, Tm, Yb, Lu, Yのうち少なくとも一種の合計8~30%、2~28%B, Co50%以下、残部Feにおいて保磁力 $iH_c \geq 1kOe$ 、残留磁束密度 $Br \geq 4kG$ の磁気特性を示し、最大エネルギー積(BH) maxはハードフェライト(~4MGOe程度)と同等以上となる。

さらに、RとしてNd, PrをRの主成分(即ち全R中Nd, Prの1種以上が50%以上)とし、12~20%R、4~24%B、45%以下Co、残部Feの組成は、最大エネルギー積(BH) max $\geq 10MGOe$ を示し、特にCoが35%以下では最大エネルギー積(BH) maxは20MGOe以上となり、最高33MGOe以上に達する。又Coは5%未満でもTc増大に寄与し、特に5%以上ではBrの温度係数約0.1%/°C以下を示し、25%以下で他の磁気特性を実質的に損うことなくTc増大に寄与する。

本発明のFe-Co-B-R系永久磁石も、先に出願したFe-B-R系永久磁石と同様な磁気異方性焼結体として得られる。典型的には、合金を

溶成、冷却（例えば鋳造）し、生成合金を粉末化した後、磁界中にて成形し焼結することにより本発明の永久磁石を得ることができる。

<実施例>

以下本発明を実施例に従って説明する。但し、この実施例は本発明をこれらに限定するものではない。

第1図に代表例として77Fe-8B-15NdのFeの一部をCo(x)で置換した系、 $(77-x)\text{Fe}-x\text{Co}-8\text{B}-15\text{Nd}$ のxを0~77に変化させた場合のキュリー点Tcの変化を示す。この試料は次の工程により作製した。

- (1) 合金を高周波溶解し水冷銅鑄型に鋳造、出発原料はFeとして純度99.9%の電解鉄、Bとしてフェロボロン合金（19.38% B、5、32% Al、0.74% Si、0.03% C、残部Fe）、Rとして純度99.7%以上（不純物は主として他の希土類元素）を使用、Coは純度99.9%の電解Coを使用した。なお純度は重量%で示す；
 - (2) 粉碎、スタンプミルにより35メッシュスルーまで粗粉碎し、次いでボールミルにより3時間微粉碎（3~10 μm ）；
 - (3) 磁界（10kOe）中配向、成形（1.5t/cm²にて加圧）；
 - (4) 焼結1000~1200℃ 1時間Ar中、焼結後放冷。
- 焼結体から約0.1gのブロック（多結晶）を切出し、VSMにより次のようにしてキュリー点を測定した。即ち、試料には10kOeの磁界を印加し、25℃~600℃までの温度範囲で4mlの温度変化

を測定し、4mlがほぼ0になる温度をキュリー点Tcとした。

上記の系でFeに対するCo置換量の増大に伴いTcは急速に増大し、Coが30%以上ではTcは600℃以上に達する。

一般に永久磁石材料において、Tcの増大は磁気特性の温度変化の減少のための最も重要な要因とされている。この点の確認のため、Tc測定用試料と同じ工程により第1表の永久磁石試料を作製して、Brの温度特性を次のように測定した。即ち25℃、60℃、100℃の各温度でBHトレースにより磁化曲線を測定し、25~60℃と60~100℃におけるBrの温度変化を平均した。各種Fe-B-R系及びFe-Ce-B-R系磁石のBr温度係数の測定結果を第1表に示す。

第1表から、Fe-B-R系磁石にCoを含有することにより、Brの温度変化が改善されることは明らかである。

第1表には各試料の室温における磁気特性も併記した。大部分の組成で、保磁力iHcはCo置換により低下するが、減磁曲線の角形性の向上により、(BH)_{max}は上昇する。しかし、Co置換量が多くなるとiHcの低下が著しく、永久磁石材料としてiHc \geq 1kOeを得るために、Co量は50%以下とする。

Bの下限、上限、Rの下限について既述の限定理由が第1表から（さらに第3、4図から）確かめられる。

第 1 表

No	原子百分率組成 (%)	Brの温度係数 (%/℃)	iHc (kOe)	Br (kG)	(BH) _{max} (MGoe)
C1	Fe-2B-15Nd	0.14	1.0	9.6	4.0
C2	Fe-8B-15Nd	0.14	7.3	12.1	32.1
C3	Fe-17B-15Nd	0.15	7.6	8.7	17.6
C4	Fe-17B-30Nd	0.16	14.8	4.5	4.2
C5	Fe-20Co-15Nd	—	0	0	0
C6	Fe-10Co-19B-5Pr	—	0	0	0
C7	Fe-60Co-8B-15Nd	0.05	0.8	8.2	3.5
8	Fe-10Co-8B-15Nd	0.09	5.2	12.0	33.0

No	原子百分率組成 (%)	Brの温度係数 (%/°C)	ilic (kOe)	Br (kG)	(BH) _{max} (MGoe)
9	Fe-20Co-8B-15Nd	0.07	8.8	12.0	33.1
10	Fe-30Co-8B-15Nd	0.06	4.5	12.0	24.2
11	Fe-40Co-8B-15Nd	0.06	3.1	11.8	17.5
12	Fe-50Co-8B-15Nd	0.06	1.5	8.7	7.7
13	Fe-15Co-17B-15Nd	0.10	7.4	8.9	18.2
14	Fe-30Co-17B-15Nd	0.08	6.3	8.6	16.5
15	Fe-20Co-8B-10Tb-3Ce	0.08	6.1	6.3	8.8
16	Fe-20Co-12B-14Pr	0.07	7.2	10.5	25.0
17	Fe-15Co-17B-8Nd-5Pr	0.08	7.4	8.3	15.7
18	Fe-20Co-11B-3Sm-13Pr	0.07	6.5	9.6	17.5
19	Fe-10Co-15B-8Nd-7Y	0.09	6.0	7.5	11.0
20	Fe-10Co-14B-7Nd-3Pr-5La	0.09	6.8	7.8	14.2
21	Fe-30Co-17B-28Nd	0.09	12.2	4.6	4.7
22	Fe-10Co-10B-12Nd-6Dy	0.10	7.8	10.1	20.1
23	Fe-10Co-10B-12Nd-6Ho	0.09	7.2	10.3	19.6
24	Fe-5Co-8B-15Nd	0.10	6.8	12.1	33.1

(符号Cは比較例を示す)

第1表には、RとしてNd, Pr等の主として軽希土類を用いたものを多数掲げてあるが、夫々高い磁気特性を示し、FeのCoによる置換によつてさらに温度特性が改善されている。Rとしては、2種以上の希土類元素の混合物も有用であることが判る。

更に得られた焼結体(第1表NaC2、Na 8、Na 24)を80°C、相対湿度90%の恒温恒湿槽に200時間置き、酸化による重量変化を測定した処、本発明に係る試料(Na 8、Na 24)はCoを含まない試料(NaC2)に比べて重量増加の割合が著しく低く、又Coの添加量に応じてその効果が顕著に認められた。

次にFeの一部をCoで置換したFe-Co-B-R系焼結磁石の代表例として57Fe-20Co-8B-15Ndの室温における磁化曲線を第2図に示す。初磁化曲線1は低磁界で急峻に立上がり、飽和に達する。減磁曲線は極めて角形性が高く、本発明磁石は典型的な高性能異方性磁石であることを示

している。初磁化曲線1の形から推察すると、本発明磁石はその保磁力が反転磁区の核発生によつて決定される、いわゆるニュークリエーション型永久磁石である。なお、第1表に示す、他の試料(比較例を除く)はいずれも、第2図と同様な磁化曲線を示した。

前述の工程と同様にして製造した試料により、(82-x) Fe-10Co-8B-xNdの系においてxを0~40に変化させてNd量とBr, iHCとの関係を調べた。その結果を第3図に示す。さらに、(75-x) Fe-10Co-xB-15Ndの系においてxを0~35に変化させてB量とBr, iHcとの関係を調べ、その結果を第4図に示す。第3図、第4図からも本発明のR, Bの数値限定の理由が明らかである。

さらに、同様の工程により、Fe-Co-B-R四成分系において、一例として(95-x-y) Fe-5Co-yB-xNdの系についてFe, B, Nd三成分を変化させて磁気特性を調べ、その結果を

(BH) maxについて第5図に示す。

本発明のFe-Co-B-R系永久磁石は、Rとして軽希土類、特にNd, Prを中心とする軽希土類、重希土類の混合物、例えばミツシユメタンやジジムのように安価なR原料を用いて高い磁気特性が得られ、かつCoの含有量も重量百分率で45%以下（原子%で50%以下）で十分であり、SmCo系磁石がSmを必須とし50~65重量%のCoを含有するのと比較すれば、Smを必須とせずかつCoを節約可能であり、温度特性はFe-B-R系磁石に比べて顕著に改善できた。

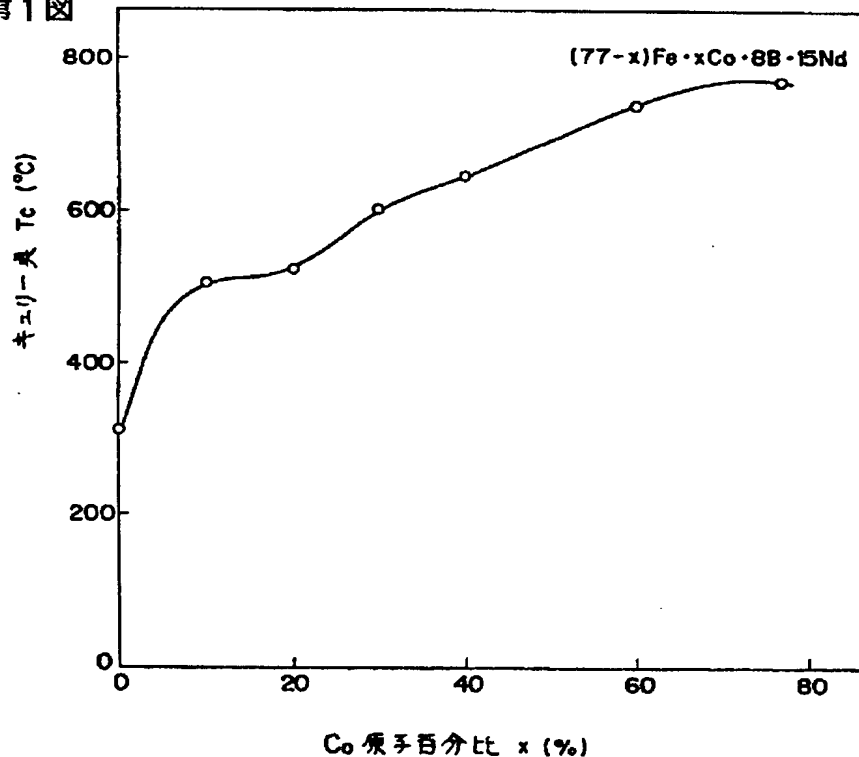
以上詳述の通り、本発明は、新規なFe-Co-B-R系磁気異方性焼結体から成る実用永久磁石を提供し、従来レベル以上の磁気特性をRとして必ずしもSmを用いることなくまたCoを多量に用いることなく実現したものである。本発明は、その実施の態様においてさらに従来磁石よりも優れた高保磁力、高エネルギー積を備えると共に実質的に従来のアルニコ、R-Co系磁石に匹敵する温度特性を備えた実用高性能永久磁石を提供し、好適な態様として従来にない最高のエネルギー積をも実現したものである。加えて、RとしてNd, Pr

等の軽希土類を希土類の中心として用いることができることにより、資源、価格、磁気特性いずれの点においても優れた永久磁石であり、工業利用性の極めて高いものである。またFe-B-R系磁石と対比してみると、Coの含有により実用上充分高いキュリー点を備え、応用範囲を拡げ実用的価値を高めている。

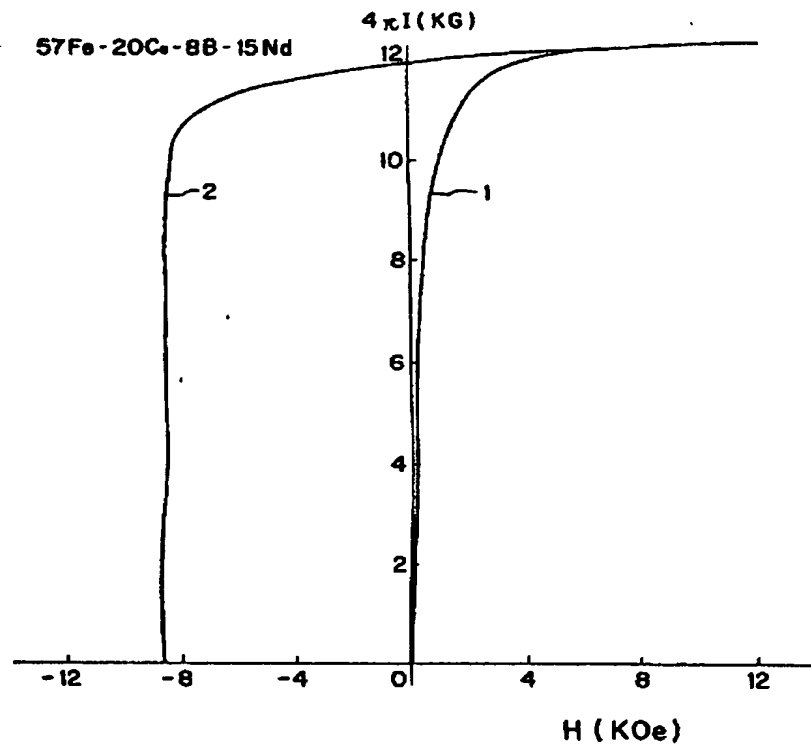
図面の簡単な説明

第1図は、 $(77-x)\text{Fe}-x\text{Co}-8\text{B}-15\text{Nd}$ 系において、Co量（横軸原子%）とキュリー点との関係を示すグラフ、第2図は、 $57\text{Fe}-20\text{Co}-8\text{B}-15\text{Nd}$ の磁石の室温における磁化曲線（初磁化曲線1、減磁曲線2、縦軸は磁化 $4\pi\text{I}(\text{kG})$ 、横軸は磁界 $\text{H}(\text{kOe})$ ）、第3図は、 $(82-x)\text{Fe}-10\text{Co}-8\text{B}-x\text{Nd}$ 系において、Nd量（横軸原子%）と $i\text{Hc}$, Brとの関係を示すグラフ、第4図は、 $(75-x)\text{Fe}-10\text{Co}-xB-15\text{Nd}$ 系において、B量（横軸原子%）と $i\text{Hc}$, Brとの関係を示すグラフ、及び第5図は、 $\text{Fe}-5\text{Co}-\text{B}-\text{Nd}$ 系において、 $(95-x-y)\text{Fe}-y\text{B}-x\text{R}$ 三成分の組成と(BH) maxとの関係を示す三成分系ダイヤグラム、を夫々示す。

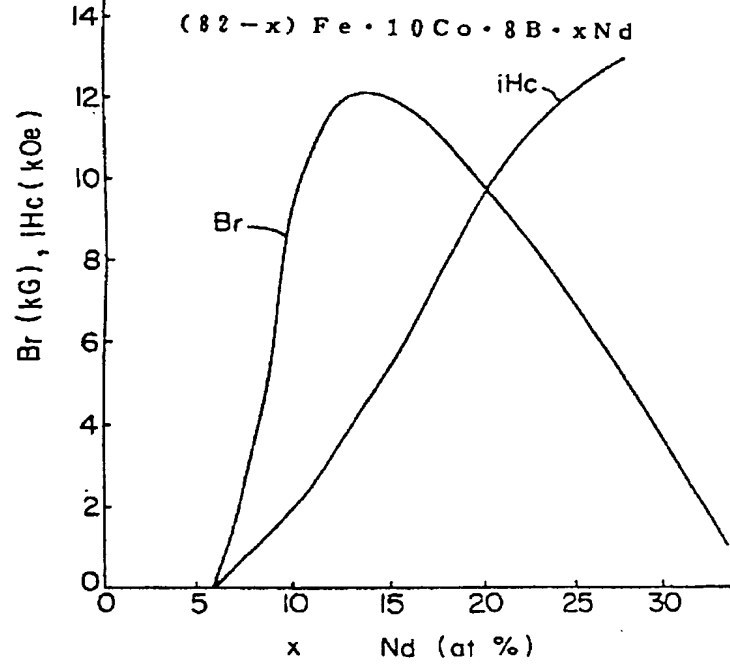
第1図



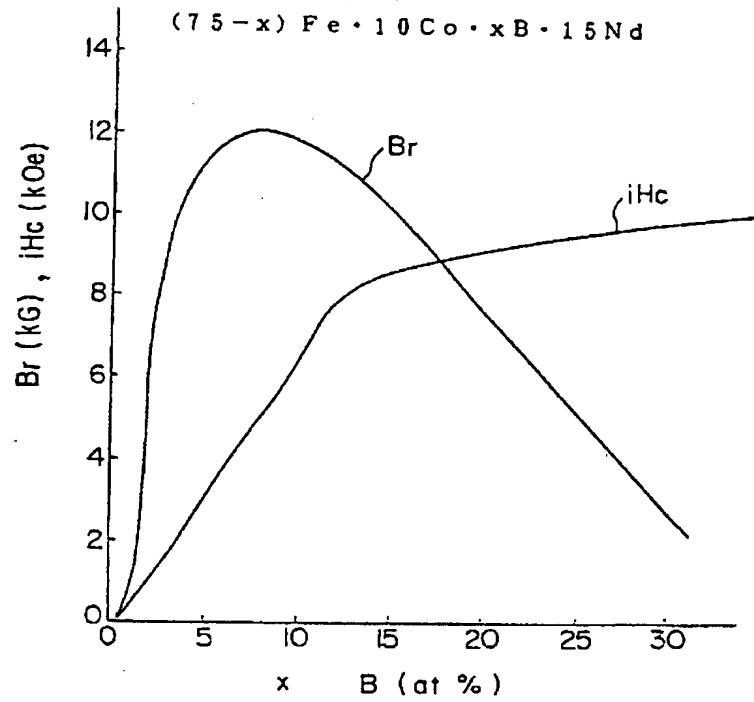
第2図



第3図



第4図



第5図

